

УДК 531

М.О. ХАРИТОНОВА, І.Д. ЄВДОКИМЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ОГЮСТЕН ФРЕНЕЛЬ ТА ЙОГО ВНЕСОК У ХВИЛЬОВУ ОПТИКУ ДО 225-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ

Робота присвячена життю та науковій діяльності відомого французького фізика О. Френеля. Розглядається його внесок у розвиток хвильової оптики

Ключові слова: хвильова оптика, фізика, наукова діяльність



Загальновідомо, що математика є не тільки дуже важливою самостійною галуззю науки, але й інструментом дослідження проблем інших наукових галузей. При цьому сама математика отримує джерело для подальшого внутрішнього розвитку під час її прикладного використання. Найпотужніший взаємозв'язок та взаємопроникнення наук має місце між математикою та фізикою. На такому шляху у XIX ст. виникла і успішно розвивається у наш час математична фізика, яка в процесі свого становлення все більше абстрагується від реальних об'єктів вивчення, перетворюється в суто математичну дисципліну.

Об'єкти та методи дослідження

Однією із задач фізики, в процесі розв'язання якої відбувалося становлення математичної фізики, є задача про дифракцію світла, тобто про відхилення променів світла від прямолінійного руху при проходженні повз малі або різкі за контуром перешкоди, або крізь вузькі отвори. Правильний вибір напрямку пошуку розв'язання сучасних оптичних проблем, зокрема, дифракції, неможливо здійснити без усвідомлення витоків даної науки та історичних аспектів її розвитку [1].

Постановка завдання

Стаття присвячена аналізу наукової діяльності французького фізика Огюстена Френеля, яка суттєво вплинула на формування не тільки сучасної оптичної науки, але й дала поштовх становленню та розвитку галузі математичної фізики – математичній теорії дифракції. До 225-річчя від дня народження вченого в роботі також розглядається його життєвий шлях.

Результати та їх обговорення

Створення математичних методів для дослідження дифракційних задач спиралося на фундаментальні положення хвильової оптики, яка остаточно закріпила свої позиції у першій половині XIX ст. Велику роль в цьому відіграв французький вчений Огюстен Френель.

Якщо у XVIII ст., завдячуючи працям Ньютона, Лапласа, Біо, Араго, більшість вчених приймали точку зору на природу світла як на прямолінійний рух часток світла (корпускул), то на початок нового сторіччя англійський вчений Томас Юнг в працях 1800-1802 рр. відкрив явище інтерференції світла, яке можна було пояснити лише з позиції хвильової природи світла. Для остаточного вирішення питання про природу світла, тобто чи є світло потоком (емісією) корпускул, чи є хвильовим процесом, у 1817 р. Паризька академія наук оголосила великий конкурс для отримання премії з математичних наук, сподіва-

ючись, що наукове обґрунтування проблеми дифракції з позиції емісіоністів закріє питання про природу світла і відхилить хвильовий погляд. Всупереч сподіванням була премійована робота маловідомого вченого О. Френеля, яка цілком спиралася на хвильову природу світла. Френель у великому дослідженні (мемуарі) з позиції хвильової теорії пояснив не тільки прямолінійність світла, але й явище дифракції. Він не був знайомий з роботами Юнга і незалежно відкрив і використав закон інтерференції світлових хвиль.

Особливе враження на членів комісії Паризької академії наук справило експериментальне підтвердження теоретичної гіпотези, що в центрі тіні малого круглого диска повинна з'явитися світла пляма. Френель склав таблиці розрахунків, за допомогою яких довів наявність періодично змінної інтенсивності світла біля краю перешкоди, тобто підтвердив явище дифракції. Розташування мінімумів та максимумів у дифракційних смугах у нього залежало від величин інтегралів

$$\int_A^M \cos az^2 dz \quad \text{та} \quad \int_A^M \sin az^2 dz ,$$

які він знайшов наближено і які тепер носять назву інтегралів Френеля.

Результати Френеля зіграли вирішальну роль у переході від двох теорій світла до єдиного погляду на світло як на хвильовий рух. На такому шляху до моменту створення Дж. Максвеллом електромагнітної теорії світла відбулось подальше теоретичне дослідження оптичних явищ [1].

Огюстен Жак Френель народився 10 травня 1788 р. в містечку Бральї у Нормандії. Його батько був архітектором і працював на будівництві одного з фортів у Шербурзі. Мати вченого за походженням з сім'ї Меріме. Її брат, Леонор Меріме, художник, секретар Школи вишуканих мистецтв, зіграв важливу роль у долі Френеля. Він був батьком знаменитого французького поета та письменника Проспера Меріме, автора «Коломби», «Кармен», «Пісень західних слов'ян». Олександр Сергійович Пушкін навіть прийняв останні за записи автентичного слов'янського фольклору.

З початком революції сім'я була змушена переїхати на південь Франції, у селище Мат'є, де у них був невеликий маєток.

Маленький Огюстен мав слабе здоров'я і не виявив особливих здібностей до навчання, у вісім років він майже не вмів читати. Він не був схильним до гуманітарних наук і так до кінця життя і не вивчив англійську мову. Але дуже рано хлопчик проявив цікавість до технічних проблем, потребу експериментувати для отримання найкращих результатів. Вчителі Френеля не ставили йому високих оцінок, тоді як шкільні товариші називали його генієм за вміння шляхом ретельних досліджень знайти найкраще співвідношення між довжиною та калібром іграшкових гармат або вибирати породу і спосіб суміщення деревини для луків.

У 13 років Огюстен пішов вчитися у місцеву школу у Кані, де у нього був першокласний викладач математики. Значною мірою, завдячуючи своєму вчителю, у 1804 р. Френель поступив до Політехнічної школи у Парижі. Політехнічна школа була створена рішенням Конвенту у 1794 р. і була призначена надавати знання, необхідні для інженерів. При цьому найкраще в цій школі було поставлене викладання математичних наук.

Уже в Політехнічній школі були високо оцінені математичні здібності Френеля. По закінченню, у 1806 р. майбутній фізик переходить навчатися до Школи мостів і доріг, а після одержання диплому у 1809 р. його направляють на роботу по укладанню доріг. Така діяльність зовсім не відповідала ні його

інтересам, ні його внутрішнім можливостям. Тому вчений намагався компенсувати своє незадоволення спробами наукових досліджень.

Свій шлях він знайшов не одразу. Спочатку займався філософсько-релігійними питаннями, потім звернувся до технічних проблем, зокрема, до технічної хімії. Нарешті, з 1814 р. інтереси Френеля концентруються на фізиці, насамперед, на оптиці.

Відкриття Е. Малюсом явищ поляризації світла, роботи Ж. Біо і, особливо, Т. Юнга по інтерференції світлових хвиль Френелю у його провінціальному містечку були невідомі. В листах до брата Леонора він просить прислати йому якомога більше наукових праць (мемуарів), у яких надруковані останні результати оптичних досліджень. Він міркує над фізичними проблемами, співставляє емісійну та хвильову теорії світла і схиляється до пояснення оптичних явищ з позиції коливних процесів.

У 1815 р. радикально змінилася політична ситуація у Франції, коли Наполеон втік з острова Ельба і висадився у Каннах. Френель, який не підтримував бонапартистів, вступив до роялістських військ волонтером і після перемоги Наполеона з початком репресій втратив свою інженерну посаду. Врахувавши стан здоров'я Френеля, а він уже тоді мав слабкі легені, йому дозволили переїхати до матері у Мат'є і, навіть, зупинитися на деякий час у Парижі. Тут відбулася перша зустріч і знайомство з Франсуа Араго, астрологом, фізиком, членом Академії наук, який в подальшому дуже допомагав Френелю в його науковій діяльності. Саме Араго зробив все можливе для переїзду вченого згодом до Парижу. Завдяки його впливу замість роботи по укладанню доріг, Френелю через деякий час доручили працювати над удосконаленням маяків. Араго енергійно відстоював інтереси Френеля в Академії наук та у наукових видавництвах. З іншого боку, найкращі наукові результати Араго отримав у співпраці з Френелем. Деякі з них набули широкого визнання лише після теоретичної інтерпретації, яку їм дав Френель.

Вісім місяців Френель знаходився у вимушеній відставці. Нове призначення він отримав лише третього грудня 1815 р. після другої поразки Наполеона і відновлення монархії. Ці вісім місяців радикально змінили все його життя. В Мат'є він почав серйозно працювати над дифракційною проблемою, причому, не тільки у теоретичному напрямі, але й в експериментальному. Більша частина дослідів проводилася вченим в умовах, зовсім не відповідних, за відсутності лабораторій і на власні мізерні кошти. Він писав брату, що у фізиці потрібно купувати честь роботи відкриття. Але така бідність лише стимулювала природну винахідливість Френеля. Його експерименти відзначалися простотою та мистецтвом одержувати високу точність самими скромними засобами. Слід відзначити, що Френель був не тільки винахідливим експериментатором. Він мав надзвичайну інтуїцію до фізичних явищ, буквально "відчував", де знаходиться істина. Нагадаємо, що Політехнічна школа, яку закінчив Френель, була на той час славетна високою математичною культурою, тоді як викладання фізики стояло на значно нижчому рівні. Підручники з фізики відносились до XVII ст. та XVIII ст., не були повними, не вміщували глибокого аналізу фізичних процесів і не відображали тогочасний стан фізики, особливо оптики.

Від Араго Френель отримав поради відносно праць по дифракції, зокрема, праць Грімальді, Ньютона, Юнга. Але найголовніші для нього дослідження Юнга залишилися вченому невідомими, про що він і написав у листі до Араго.

Тому, в ході дослідження явища дифракції, Френель самостійно відкрив принцип інтерференції, спираючись на нього, пояснив не тільки дифракцію, але й ряд інших оптичних явищ.

Таким чином, перший мемуар по дифракції 1815 року значною мірою повторив те, що вже було зроблено Юнгом.

Про це Френель дізнався з листа Араго. Спочатку він був вкрай розчарований, але трохи згодом написав брату, що ці неприємності не примусили його втратити смак до фізики, і що на докір у плагіаті він буде відповідати новими відкриттями.

На початку 1816 р. Френель отримав відпустку для проведення у Парижі додаткових досліджень з дифракції. Араго надав йому можливість працювати у лабораторії Політехнічної школи і сам брав участь у цих дослідках. Впродовж десяти місяців були проведені численні експерименти з дифракції та інтерференції, поглибилися теоретичні основи, що мало беззаперечне значення для підтвердження хвильової теорії дифракції. Восени 1817 р. він отримав дозвіл на остаточний переїзд до Парижу, де завдяки клопотанню Араго та Лапласа був призначений інженером управління одного з кантонів Паризького округу. Причиною такого клопотання був саме той конкурс Академії наук, про який було сказано вище. Під впливом порад друзів Френель вирішив подати на конкурс свій мемуар 1815 р. і не тільки сформулювати в розгорнутій формі свої уявлення про явище дифракції світла, але й удосконалити їх, провівши ряд дослідів та розвинувши математичні методи розрахунків.

Після того, як вчений був удостоєний премії, його дослідження з дифракції були вибірково опубліковані у наукових журналах, а повністю мемуар побачив світ у 1826 р. у працях Академії наук після обрання Френеля до складу Академії [2].

З кінця 1817 р. наукова діяльність Френеля стає дуже інтенсивною. Одночасно з фізичними дослідженнями він багато уваги приділяє своїм інженерним обов'язкам, які з 1819 р. були пов'язані з удосконаленням маяків. Тепер він отримав повне визнання важливості своїх результатів. Якщо мемуари 1815 р. розглядалися лише як доповнення до праць Юнга, то наступні роботи 1816 р. та 1817 р. рішуче вплинули на вирішення питання про природу світла. Мемуар 1818 р. здобув премію Академії наук, дослідження 1821 р. подвійного променезаломлення отримали високу оцінку Лапласа, а обґрунтування законів відбиття, зроблене у 1823 р., пояснило суть відкритої Малюсом поляризації з позиції хвильової оптики [2]. 12 травня 1823 р. Френель був обраний членом Академії наук до секції фізики.

Незабаром прийшло визнання з Англії. У 1825 р. вченого обрали членом Королівського товариства – вищого наукового закладу Англії. 18 червня 1827 р. Юнг сповістив Френеля про присудження йому Румфордівської медалі. На жаль, цей знак пошани фізик отримав перед самою смертю.

14 липня 1827 р. обірвалося коротке життя і ще більш коротка наукова діяльність Огюстена Френеля. Він прожив всього 39 років, з них близько 9 років (з 1815 по 1824 рр.) працював над фізичними проблемами. Але саме Френелю оптична наука зобов'язана своїм блискучим і плідним розквітом. Якщо славу експериментатора з Френелем ділять такі вчені як Малюс, Араго, Біо, Брюстер, то лише йому належить весь глибокий зміст, який вклала в оптичні явища його хвильова теорія [2, 3].

Саме з його хвильової теорії беруть початок основні математичні положення теорії пружності та математичної теорії дифракції.

Результати наукової діяльності Френеля можна звести до наступних головних проблем.

1. Дифракція та інтерференція.

Незважаючи на те, що Юнг раніше за Френеля зробив перші важливі кроки по дослідженню явища інтерференції світла, саме внесок Френеля виявився вирішальним. Він провів ряд дослідів по дифракції та виконав точні розрахунки.

Крім того, доповнив ідеї Юнга принципом Гюйгенса у власному уточненому формулюванні. На цьому шляху вчений пояснив прямолінійність руху світла і, таким чином, ліквідував одне з найважливіших заперечень прихильників емісійної теорії.

2. Вплив поляризації на інтерференцію світлових променів та поперечність хвиль світла.

Надзвичайно важливе значення експериментів з поляризованими променями світла в тому, що вони примусили Юнга та Френеля висунути гіпотезу про поперечність хвиль світла, яка привела до хвильового трактування поняття поляризації. Френель висловив думку: або прийняти як факт поперечність світлових хвиль, або взагалі відмовитися від хвильової теорії. Його підтримав славетний вчений, фізик та математик, творець «Небесної механіки» Лаплас, який спочатку був переконаним емісіоністом, але завдячуючи, в першу чергу, Френелю, перейшов на бік прихильників хвильових поглядів.

3. Кольори кристалічних пластинок, кругова та еліптична поляризація, обертання площин поляризації.

Численні віртуозні досліди, проведені Френелем, довели, що явище обертання площин поляризації є різновидом подвійного променезаломлення і дозволили з'ясувати причини та сутність відкритих ним же явищ еліптичної та кругової поляризації. Ці питання, завдячуючи вченому, стали послідовно розвинутою частиною оптики, що вплинуло на подальше утвердження хвильових коливань.

4. Теорія відбиття та заломлення. Повне внутрішнє відбиття.

Вивчення цих законів світла ставило за мету одержати закони взаємодії світла та речовини. В період наукової діяльності Френеля вважалося, що світло рухається у пружному середовищі – ефірі. Але задовільно пояснити оптичні явища, розглядаючи ефір як пружне тіло звичайного типу, було неможливо. Дослідження О. Френеля, Дж. Гріна, які розвивали теорію пружного ефіру, фактично заклали основи сучасної теорії пружності твердого тіла.

Засновники теорії пружності Л. Нав'є, О. Коші, Дж. Грін починали з розв'язання проблем, поставлених саме Френелем. Звичайно, теорія пружного ефіру була недосконалою, тільки електромагнітна теорія Дж. Максвелла зуміла остаточно розв'язати проблеми відбиття та заломлення, але внесок Френеля важко переоцінити. Як сказав В. Томсон, ми зберігаємо назву формул Френеля для «гідних подиву законів, які встановив геній Френеля 80 років тому назад на основі далеко недосконалих механічних уявлень» [4].

5. Кристалооптика.

Сучасна кристалооптика цілком базується на ідеях Френеля, які в роботах його послідовників отримали більш чітке обґрунтування і були звільнені від помилок та математичних недосконалостей.

6. Вплив руху Землі на оптичні явища.

Ще наприкінці XVIII ст. Мічел намагався довести, що світло, яке надходить від зірок, заломлюється інакше, ніж те, яке випромінюється земним джерелом. Араго провів досліди, згідно яких таке припущення виявилось невірним. Аналіз, зроблений потім на прохання Араго Френелем, був значно глибшим, а висновки мали ширше значення. По суті, вони передували теорії Г. Лорентуа та теорії відносності А. Ейнштейна.

7. *Праці по створенню нової системи освітлення маяка.*

Це фактично останні досягнення Френеля і належать вони до прикладної оптики.

Безпека мореплавання завжди мала велике значення і заслуги Френеля у розвитку цієї області, його досягнення у подоланні технічних проблем важко переоцінити.

Вже після смерті вченого, коли маяки його системи розповсюдилися по всій Франції, навіть англійці, знавці у цих поняттях, визнали, що Франція обійшла усі нації у конструкції та управлінні маяками.

Висновки

Огюстен Френель відіграв вирішальну роль в остаточному утвердженні хвильової теорії світла. Це дало можливість ввести математичний апарат коливних процесів у дослідження оптичних явищ. На такому теоретичному підґрунті сформувалась нова галузь знань – теорія пружності. Крім того, виникла і почала розвиватися математична теорія дифракції, яка тепер досліджує значно ширше коло питань, ніж лише проблему дифракції світла. Тільки у XX ст. теорія відносності та теорія квантів утворили нову основу всієї фізики, зокрема, оптики.

Список використаної літератури:

1. Харитоновна М.А. Математическая теория дифракции и её развитие в XIX в: диссертация на соискание учёной степени канд. физ.-мат. наук.: 18.11.1992 / Харитоновна Марина Алексеевна. – К.: – 1992. – 131 с.
2. О. Френель. Избранные труды по оптике. – М.: Гостехиздат, 1955. – 604 с.
3. Dictionary of Scientific Biography. Ed. in chief Gillispie Ch., N.Y., Scribner, 1968. – V. V. – P. 87–92.
4. V. Thomson (Kelvin). Vorlesungen über Molekularodynamik und die Theorie des Lichtes. – Балтиморские чтения. – Пер. с немецк. – Гл. XVII, §§ 81, 81', 1904.

Стаття надійшла до редакції 07.05.2012

Огюстен Френель и его вклад в волновую оптику. К 225-летию со дня рождения

Харитоновна М.А., Евдокименко И.Д.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Работа посвящена жизни и научной деятельности известного французского физика О. Френеля. Рассматривается его вклад в развитие волновой оптики.

Ключевые слова: волновая оптика, физика, научная деятельность.

Augustin Fresnel and his contribution to wave optics. To 225-anniversary

Kharytonova M.A, Ievdokymenko I.D.

Kyiv National University of Technology and Design

The life and scientific activity of the famous French physicist A. Fresnel is observed. Analysis of his valuable contribution to physical and mathematical optics is offered.

Keywords: wave optics, physics, scientific activity.